Wie verhält sich die negative Schwankung des Nervenstroms bei Reizung der sensiblen und motorischen Spinal-Wurzeln des Frosches?

INAUGURAL-DISSERTATION

der medicinischen Facultät

der

KAISER-WILHELMS-UNIVERSITÄT STRASSBURG

zur Erlangung der Doctorwürde

vorgelegt von

JOHN J. ABEL

aus Cleveland (Ohio, U. S. A.)

STRASSBURG
Universitäts-Buchdruckerei von J. H. Ed. Heitz
(Heitz & Mündel)
1888.

Gedruckt mit Genehmigung der medicinischen Facultät der Universität Strassburg.

Referent: **Prof. Dr. Goltz.**

Durch C. Eckhard[1] und P. Grützner[2] ist ermittelt worden, dass eine Temperatur von 40—50 ° C., welche von der Haut aus Empfindung und Reflexe auslöst, keine Zuckung hervorruft, wenn sie auf den motorischen Nerven einwirkt. Angesichts dieser Thatsache entsteht die Frage: Wie verhält sich unter diesen Umständen die negative Schwankung des Nervenstroms? Gesetzt, es liesse sich während der Anwendung des genannten thermischen Reizes eine negative Schwankung in den sensiblen Spinalwurzeln, aber keine solche in den motorischen nachweisen, so würde hieraus auf einen Unterschied beider Nervenarten zu schliessen sein; gesetzt jedoch, es verhielten sich rücksichtlich des electrischen Stromes beiderlei Nerven gleichmässig, so würde damit eine besondere Eigenschaft des Muskels aufgedeckt sein.

Seitdem wir im Capillarelectrometer ein Werkzeug besitzen, welches auch einen sehr vorübergehenden

---

1 Zeitschrift f. rat. Medicin. Ist R. 1850.
2 Pflüger's Archiv 1878 u. 1881.

Reiz mit einer deutlichen negativen Schwankung beantwortet, bot sich die Aussicht, die oben aufgeworfene Frage zu lösen; darum war ich geneigt, die mir beim Eintritt in das physiologische Institut zu Leipzig gestellte Aufgabe in Angriff zu nehmen.

Methoden. 1. Das Capillarelectrometer.

Die Veränderung der galvanischen Eigenschaften des Nerven suchte ich vermittelst des Capillarelectrometers zu beobachten. Da es sich hierbei voraussichtlich um sehr kleine Veränderungen handelte, musste die Beobachtung des Capillarröhrchens unter hohen Vergrösserungen gestattet sein; dies ist aber nur möglich wenn man sehr enge Röhren benutzt. Es ist ein Vortheil enger Röhren, dass sie die Forderung der Aperiodicität vollkommener erfüllen als weite, weil jede Kraft, welche die Form des Meniscus zu verändern strebt, auf sehr grosse Widerstände stösst. Sie haben aber auch zwei Nachtheile, welche zwingen, eine gewisse Grenze einzuhalten.

Es wird nämlich ihr Widerstand gegen den electrischen Strom so gross, dass die Erreichung der compensirenden Polarisation merklich verzögert wird. Man liefe daher Gefahr, dass sehr rasche Aenderungen der electromotorischen Kraft, namentlich wenn sie ausserdem von kleinem Werthe sind, der Beobachtung ent-

gehen. Ein zweiter, technischer Nachtheil besteht darin, dass man eines grossen Druckes bedarf, um das Quecksilber in den engen Theil der Röhre zu treiben. Lovén erreicht zwar diesen Druck in sehr handlicher Weise durch Compression eines mit Quecksilber gefüllten Kautschukschlauches. Die elastische Nachdehnung mit welcher jedoch der Schlauch auf jede Veränderung seiner Spannung antwortet, bedingt beständig ein langsames Zurückwandern des vorgetriebenen Quecksilberfadens, wodurch die Beobachtung sehr erschwert wird. Ich habe es daher vorgezogen, die Füllung des engen Theils der Röhre durch Quecksilberdruck zu erreichen.

Ich liess der Röhre, welche an ihrem unteren Ende in die feine Spitze ausgezogen war, eine Länge von 500—700 mm und füllte sie mit reinem, staubfreiem Quecksilber soweit auf, dass der Meniscus bis in den Beginn des engen Stückes vorrückte. Zur feineren Einstellung der Kuppe auf irgend einen Punkt der Capillare kann man eines Druckapparates kaum entbehren. Ich verband in ganz ähnlicher Weise wie dies Lippmann gethan hat, das obere Ende des Rohres mit einem Luftraum, welchen ich in bequemer Weise unter hohe positive oder negative Drucke bringen konnte.

Die Einrichtung des Capillarelectrometers war im übrigen folgende: Ein Hartnack'sches Mikroskop-

stativ war horizontal umgelegt und auf einen starken Dreifuss befestigt. Diese Anordnung, welche dem Electrometer von Christiani eigenthümlich ist, war von Herrn Mechaniker Pfeil gearbeitet. Der Tisch des Mikroskopes steht nun vertikal. Ich liess denselben unterhalb der Blendung mit einem Gehäuse versehen auf welchem der kleine mit Quecksilber und verdünnter Schwefelsäure gefüllte Glastrog Platz fand, durch dessen Wände die Capillare beobachtet werden soll. Das lange Rohr wurde nahe seinem obern Ende festgehalten, konnte jedoch um den Befestigungspunkt kleine pendelartige Bewegungen nach irgend welcher Richtung ausführen. Dies ist nothwendig, um die Röhre in die Mitte des Sehfeldes und so weit nach vorne zu bringen, dass die ausgezogene Spitze der vorderen aus einem Deckglas geschnittenen Wand des Troges anliegt. Zur sicheren Ausführung dieser Einstellung diente eine Führung, die gleichfalls von dem Tische des Mikroskopes getragen wurde. Sie bestand aus einem Schlitten, der durch eine Schraube von rechts nach links verschoben werden konnte. In die Platte des Schlittens war ein Schlitz eingeschnitten, dessen Längsaxe mit der Axe des Mikroskopes parallel lief. Durch den Schlitz war das untere Ende des Rohres gesteckt und in demselben vermittelst einer zweiten Schraube von vorn nach rückwärts verschiebbar.

Die Brauchbarkeit des Instruments hängt einzig

von der Beschaffenheit der Röhre ab. Eine Vorprüfung derselben lässt sich, wie v. Fleischl[1] angegeben hat, schon vor dem Einsetzen in das Instrument unmittelbar nach der Füllung vornehmen. Dadurch kann aber die genauere Prüfung mittelst electrischer Ströme nicht erspart werden, und da man im voraus nicht weiss, wie dasselbe ausfallen wird, so ist es stets am zweckmässigsten, eine grössere Anzahl Röhren bereit zu halten und die beste auszuwählen. Die Glasröhren, aus welchen man die Capillaren zieht, müssen sorgfältig gereinigt sein. Ich spülte sie hintereinander mit verdünnter Salpetersäure, Alkohol und Aether. Die trocknen Röhren wurden dann vor einer ganz kleinen Flamme ausgezogen und unmittelbar nach dem Erkalten mit reinem Quecksilber gefüllt. Trotzdem findet man nicht selten Röhren welche in gewissen Querschnitten die Quecksilberkuppe festhalten und sie ihrer Empfindlichkeit gegen polarisirende Ströme berauben. Da sich unter dem Mikroskope keine Unregelmässigkeit des Lumens zeigt, so dürfte wohl eine Verunreinigung der Glaswand wodurch ihre Benetzung mit der Schwefelsäure verhindert wird, hierfür verantwortlich sein. Aehnlich verhält sich eine Capillare wenn die Kuppe längere Zeit auf einem Punkte stehen geblieben ist. Die Prüfung auf die Beweglichkeit des Quecksilbers

---

[1] Archiv f. Anat. u. Physiologie 1879.

muss daher häufig wiederholt werden. Die Röhren werden nach längerem Gebrauch untauglich, indem sich Niederschläge auf der Wand absetzen. Zuweilen gelingt es durch Austreiben von Quecksilber die Röhre wieder brauchbar zu machen; länger als einige Wochen wird man jedoch nicht mit einer Röhre arbeiten können.

Die Prüfung der Beweglichkeit und der Empfindlichkeit des Electrometers kann Hand in Hand gehen. Ich verstehe unter Empfindlichkeit die Grösse der Ortsveränderung welche die Quecksilberkuppe in Folge einer Polarisation von bekannter electromotorischer Kraft erleidet. Bekanntlich hängt dieselbe ab von dem Betrage, den die konisch ausgezogene Spitze pro Längeneinheit besitzt, und zwar ist sie derselben umgekehrt proportional. Daraus folgt, dass eine Capillare von cylindrischer Form unbrauchbar ist, weil in derselben die Kuppe des Quecksilbers ein labiles Gleichgewicht besitzt. Je näher aber der Konus der Capillare der Cylinderform kommt, desto empfindlicher wird sie. Um die beste Stelle einer gegebenen Capillare rasch aufzufinden, stellte ich die Quecksilberkuppe mittelst des Druckapparates auf eine Reihe von Querschnitten der Spitze ein und compensirte jedes mal durch das Electrometer einen galvanischen Strom von bekannter electromotorischer Kraft, nämlich gleich $\frac{1}{10000}$ eines Grove'schen Elementes. Dieser Werth stellte sich für

ein Electrometer von der beschriebenen Einrichtung als eine Art Grenzwerth heraus. Eine gute Capillare gibt mir mit Hartnack Objectiv 7, Ocular 3, einen deutlichen Ausschlag von etwa 1 Theilstrich des Ocularmikrometers. Für noch kleinere Werthe werden die Ausschläge bald undeutlich, und es ist mir nicht gelungen die Empfindlichkeit weiter zu steigern. Immerhin ist die Empfindlichkeit des Instrumentes so gross, dass alle Vorsicht geboten ist, wenn man nicht in grobe Fehler verfallen will. Mit Ausnahme der Erdleitungen müssen alle Theile der Versuchsanordnung auf das sorgfältigste isolirt sein. Von dieser Vorschrift ist selbst der Experimentirende und sein Gehilfe nicht ausgenommen, sobald mit den Apparaten hantirt wird. Erst als ich diese Forderung auf das peinlichste erfüllte, bekam ich klare Resultate, die ich im Folgenden mitgetheilt habe.

2. Vorbereitung des Frosches.

Um die Spinalwurzeln rasch und ohne Beeinträchtigung ihrer Reizbarkeit bloszulegen und sie darauf so festzustellen, dass sie, ohne die geringste Verrückung zu erfahren, auf den Electroden längere Zeit hindurch liegen bleiben, bediente ich mich eines im hiesigen Institute angewendeten Verfahrens. Die Querfortsätze der Rücken-

wirbel werden, nachdem der Frosch vom Foramen magnum aus mit einem Holzstäbchen enthirnt ist, beiderseits in eine breite, der Länge der Wirbelsäule entsprechende stählerne Klemme eingeschraubt; die Bögen rechts und links der schiefen Fortsätze parallel durchsägt und darauf mit der Zange weggehoben. Durch dieses Verfahren wird das Rückenmark rasch und unter Vermeidung der störenden Blutung freigelegt. Zugleich gewährt es die Möglichkeit, das Rückenmark unbeweglich zu befestigen, weil die beiden Klemmen die freien Enden eines gestielten Bogens aus Stahl bilden in dem die Wirbelkörper ruhen.

Von dem freigelegten 7. und 8. Wurzelpaare wurden nach Bedürfniss entweder die sensiblen Fasern nahe dem Mark oder die motorischen nahe dem Foramen intervertebrale durchgeschnitten. Statt auf einer wurde auch zuweilen auf beiden Seiten mit der 7. und 8. Wurzel wie angegeben verfahren, so jedoch, dass, wenn rechts die motorischen, links die sensiblen Wurzeln abgetrennt wurden. Das Bein, dessen motorische Wurzeln nicht durchschnitten waren, wurde immer unbeweglich angeheftet.

Waren die sensiblen Wurzeln einerseits mit dem Querschnitt und anderseits mit dem Längsschnitt auf die Pinselelectroden gelegt, so zeigte das Electrometer sogleich einen kräftigen Ruhestrom (von 20 und mehr Theilstriche des Ocularmikrometers) an, welcher unter

den folgenden Umständen eine negative Schwankung erlitt:

1. Wenn die Pfote in siedendes Wasser getaucht wurde;

2. wenn der aus den Muskeln herausgelöste Nervus ischiadicus von dem isolirten Gehilfen mit einer scharfen Scheere durchschnitten wurde. Die Schwankung fiel niedriger aus, wenn die Scheere den Nerven, statt wie vorher rasch, allmählich durchschnitt; ihr Auftreten war zweifelhaft, wenn statt des ganzen Ischiadicus weniger als die Hälfte seiner Fasern durchschnitten wurden. Auch war die Schwankung sehr deutlich wahrzunehmen, wenn der Nervus peroneus oder der N. tibialis durchschnitten wurde. Durchaus wirkungslos zeigte sich dagegen die Erwärmung der Haut mit Wasser von 40 bis 45° C., sowie

3. die Reizung der Haut mit verdünnten Säuren, selbst wenn Stellen gewählt wurden in welchen sich, den Angaben von C. Eckhard entsprechend, die auf den Electroden liegenden Nervenwurzeln verbreiten, und

4. die chemische oder thermische Reizung (40 bis 45° C.) des ausgelösten N. ischiadicus. Controlexperimente aber bewiesen, dass diese Reizungen stets Reflexe auslösten.

Um den ausgelösten Nervenstamm sicher und ohne Verletzung seines Gefüges auf die obengenannte Temperatur zu bringen, wurde er auf ein sehr dünn-

wandiges Glasrohr gelegt, in welches einerseits eine dem Durchmesser des Nervenstammes möglichst entsprechende Rinne eingedrückt wurde, und durch dessen Lichtung ein dauernder Strom Wasser von 40—45° C. geleitet wurde. Weil das Kupfer die Wärme weit besser als Glas leitet, so konnte die Anwendung einer kupfernen Röhre als Zuführungsmittel der höheren Temperatur für weit zweckmässiger erachtet werden als die eines Glasrohres.

Anfangs bediente ich mich in der That als Grenzschicht zwischen dem warmen Wasser und dem Nerven eines Metallplättchens, und in diesem Fall trat, als der 38° C. warme Wasserstrom an dem Plättchen vorbeifloss, eine negative Schwankung in der sensiblen Wurzel von den Eigenschaften auf, wie sie ein Inductionsschlag zu erzeugen vermag. Indess geschah das Gleiche, als statt des warmen, kaltes Wasser durch die Röhre geführt wurde, so dass die Erregung des Nerven keinenfalls von der Aenderung seiner Temperatur bedingt sein konnte. Da nun bekanntlich beim Strömen des Wassers in Röhren die Wand der letzteren in electrische Spannung geräth, so hat der bei Anwendung des metallischen Apparates entstandene electrische Strom den Nerven entweder direct gereizt, oder er ist durch den Nerven zu den ableitenden Electroden hingedrungen.

Um den blosgelegten Nervenstamm chemisch zu

reizen, liess ich auf denselben aus einem Pinsel, der in geringer Höhe über ihm befestigt war, verdünnte Essigsäure, gesättigte NaCl-Lösung oder reines Glycerin tropfen.

Von meinen Erfahrungen über die negative Schwankung an den motorischen Wurzeln des Frosch-Ischiadicus erscheinen mir die folgenden der Mittheilung werth zu sein.

Stehen die motorichen Wurzeln des 7. und 8. Nervenpaares mit dem Rückenmark in unversehrter Verbindung, und liegen ihre kurz vor dem Eintritt in das Foramen intervertebrale abgeschnittenen Enden mit Längs- und Querschnitt auf den Electroden, so zuckt, auch wenn dem Präparat vollkommene Ruhe gegönnt wurde, die Hg-Säule des Electrometers in längeren oder kürzeren Zeiträumen, ein Vorkommen, welches schon von Setschenow beschrieben wurde.

Weit bessere Schwankungen des Ruhestroms erhält man dagegen wenn die Hautflächen gereizt werden in welchen die sensiblen Wurzeln des 7. und 8. Nerven enden. Bei der Ausführung des Versuches war das Bein dessen Haut gereizt werden sollte an einem Stativ unbeweglich festgebunden — nur die Zehen blieben frei. Zur Reizung benutzte ich die Zehen, welche mit starker Essigsäure betupft wurden. Die 7. und 8. motorische Wurzel oder der heraus-

präparirte Ischiadicus des anderen Beines lagen auf den Pinselelectroden.

Der schmerzhafte Eingriff rief eine reflectorische Bewegung in den Zehen des gleichzeitigen Beins hervor, und gleichzeitig stieg die Hg-Säule des Electrometers rasch empor. Beachtenswerth war das glatte, stetige Ansteigen des Quecksilbers. Dem Umstande entsprechend dass die Reflexbewegung sich aus tetanischen Zusammenziehungen zusammensetzt, wäre zu erwarten gewesen, dass auch das Hg unter Ausführung kleinerer, rasch aufeinanderfolgender Schwankungen gestiegen sei. Von solchen war jedoch keine Spur sichtbar. Die Erregung der Nervenmasse, welche durch die Berührung der Haut mit Säuren eingeleitet wird, hat sich dem mitgetheilten Versuch entsprechend in ihrem Ablauf oder ihrer Stärke geändert, wenn sie aus den sensiblen in die motorische Abtheilung der Nerven übergegangen ist. Die Erregung der Hautnervenenden wurde erst dann von einem Erfolg für das Electrometer begleitet nachdem sie den reflectirenden Apparat des Markes durchsetzt und sich von da auf die motorischen Wurzeln fortgepflanzt hatte.

Sehr deutlich und den in den Muskeln sichtbaren Erscheinungen gemäss prägen sich im Electrometer die Schwankungen der Quecksilbersäule aus, wenn die motorischen Wurzeln in den Kreis aufgenommen sind während einer unmittelbaren Reizung des Rückenmarks.

Vor der Reizung ist das Bein zu welchem die durchschnittenen Wurzeln laufen, unverrückbar befestigt. Der Angriff auf das Mark selbst wird vorgenommen durch vier, in einer Reihe hinter einander an einem Stiel aufgestellte feine Nadeln, welche nahe über dem Ursprung der Wurzeln aus dem Marke in das letztere rasch eingestochen und ebenso rasch wieder herausgezogen wurden. Bekanntlich ruft ein solcher Stich in den Muskeln einen sehr kräftigen Tetanus hervor, welcher nach einem anfangs dauernden und gleichmässigen Bestande alsbald nachlässt, um aber sogleich wieder zurück zu kehren, eine Schwankung, welche sich mehrmals wiederholt, bis endlich eine vollkommene Lähmung des Gliedes Platz greift. Zur Zeit, in welcher das unversehrte Glied vom Tetanus ergriffen worden wäre, führt die Hg-Säule des Electrometers eine starke negative Schwankung aus, die den Stand der Quecksilberkuppe über die Lage hinausführen kann, welche sie während des Ruhestroms behauptete. Diesmal erfolgt jedoch die Lagenänderung des Quecksilbers nicht stetig, sie ist von kleinen zuckenden Bewegungen begleitet. Die kleineren Oscillationen, die sich an die grossen Schwankungen anfügen, folgen einander sehr rasch, so dass sie für den Ausdruck der einzelnen vom Rückenmark hervordringenden Reizstösse gelten können. Nachdem das Hg eine starke negative Schwankung ausgeführt hat, wendet sich dasselbe zu-

rück, verfolgt aber den neuen Weg nur kurze Zeit und beginnt von Neuem nach der negativen Richtung hin zu schwanken und so fort in mannigfachem und unregelmässigem Wechsel, bis es endlich zur Ruhe kommt.

Zum Schlusse ist es mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Ludwig, meinen herzlichsten Dank auszusprechen für die Uebergabe dieses Themas und für seine Rathschläge im Verlaufe dieser Arbeit. Dem Herrn Privatdocenten Dr. v. Frey sage ich auch meinen innigsten Dank für die freundlichen Anweisungen und die Unterstützung, die er mir beim Experimentiren hat zu Theil werden lassen.

Leipzig, im Mai 1885.